

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-214746

(43)Date of publication of application : 06.08.1999

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Application number : 09-348973

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 18.12.1997

(72)Inventor : MUKAI TAKASHI  
NAKAMURA SHUJI

(30)Priority

Priority number : 09317421

Priority date : 18.11.1997

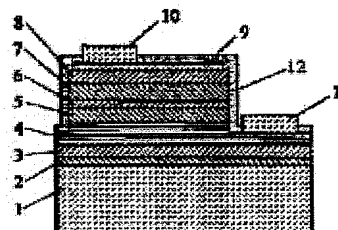
Priority country : JP

## (54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable mainly a nitride semiconductor device such as an LED or an LD to be enhanced in output power, which is reduced both in  $V_f$  and in threshold, and improved in reliability.

SOLUTION: A first nitride semiconductor layer 3 which contains n-type impurities as much as  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  or below, a second nitride semiconductor layer 4 which contains n-type impurities as much as  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  or above, and a third nitride semiconductor layer 5 which contains  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  or below are successively provided between a substrate 1 and an active layer 6, and an n-side electrode is formed on the second nitride semiconductor layer 4. The first and the third semiconductor layers, 3 and 5, are low in n-type impurity concentration, so that they serve as base layers of good crystallinity, and the second layer 4 of high n-type impurity concentration can be grown on the first layer 3 of high crystallinity, while keeping high crystallinity.

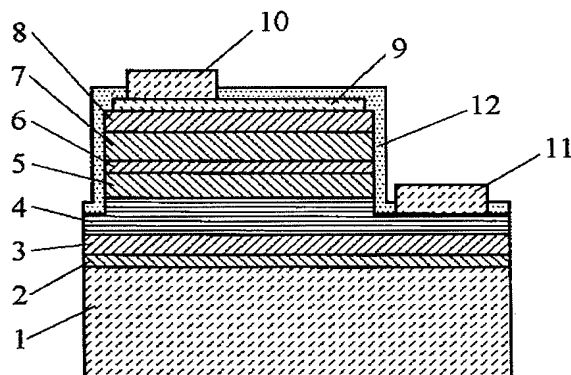


(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成11年(1999)8月6日

H01S 3/18

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と活性層との間に、基板側から順にn型不純物が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の第1の窒化物半導体層と、n型不純物が $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上の第2の窒化物半導体層と、n型不純物が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の第3の窒化物半導体層とを有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されてなることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 前記第2の窒化物半導体層にn型不純物が $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上ドーピングされていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 前記第3の窒化物半導体層の膜厚が $0.5 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は窒化物半導体 ( $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) よりなり、発光ダイオード素子、レーザダイオード素子等の発光素子に用いられる窒化物半導体発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度純緑色発光LED、青色LEDとして、既にフルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドーピングGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造のInGaNよりなる活性層と、MgドーピングAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドーピングGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。

【0003】また、本出願人はこの材料を用いてパルス電流下、室温での410nmのレーザ発振を世界で初めて発表した{例えば、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L74、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L217等}。このレーザ素子は、InGaNを用いた多重量子井戸構造(MQW: Multi-Quantum-Well)の活性層を有するダブルヘテロ構造を有し、パルス幅2 $\mu\text{s}$ 、パルス周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度8.7kA/cm<sup>2</sup>、410nmの発振を示す。また、本出願人は室温での連続発振にも初めて成功し、発表した。{例えば、日経エレクトロニクス 1996年12月2日号 技術速報、Appl.Phys.Lett.69(1996)3034-、Appl.Phys.Lett.69(1996)4056-等}、このレーザ素子は20℃において、閾値電流密度3.6kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧5.5V、1.5mW出力において、27時間の連続発振を示す。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように窒化物半導体はLEDで既に実用化され、LDでは数十時間ながら連続発振にまで至っているが、LEDを例えば照明用光源、直射日光の当たる屋外ディスプレイ等にするためにはさらに出力の向上が求められている。またLDでは閾値を低下させて長寿命にし、光ピックアップ等の光源に実用化するためには、よりいっそうの改良が必要である。また前記LED素子は20mAにおいてVfが3.6V近くある。Vfをさらに下げることにより、素子の発熱量が少なくなると、信頼性が向上する。またレーザ素子では閾値における電圧を低下させることは、素子の寿命を向上させる上で非常に重要である。本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであって、その目的とするところは、主としてLED、LD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、Vf及び閾値を低下させて素子の信頼性を向上させることにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明は、上記

(1)～(3)の構成により本発明を達成することができる。

(1) 基板と活性層との間に、基板側から順にn型不純物が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の第1の窒化物半導体層と、n型不純物が $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上の第2の窒化物半導体層と、n型不純物が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の第3の窒化物半導体層とを有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されてなることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【0006】(2) 前記第2の窒化物半導体層にn型不純物が $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上ドーピングされていることを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体発光素子。

(3) 前記第3の窒化物半導体層の膜厚が $0.5 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする前記(1)又は(2)に記載の窒化物半導体発光素子。

【0007】つまり、本発明は上記の如く、特定の第1、第2及び第3の窒化物半導体層のn型不純物濃度を特定の範囲に規定することにより、著しく順方向電圧(Vf)及び閾値を低下させることができる。また、本発明は、第3の窒化物半導体層の膜厚を $0.5 \mu\text{m}$ 以下とすることで順方向電圧の低下をより良好に行うことができる。

## 【0008】

【発明の実施の形態】第1の窒化物半導体層は、n型不純物濃度を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以下としアンドープでもよい。このようにn型不純物濃度を小さくすると、n型不純物濃度の高い第2の窒化物半導体層を第1の窒化物半導体層上に形成しても結晶性よく形成することができる。上記不純物濃度の範囲を逸脱すると、結晶性のよい第2の窒化物半導体層を形成しにくくなり、素子のリーク電流が発生し

易い傾向にある。

【0009】第1の窒化物半導体層は、後述するバッファ層より高温、例えば900℃～1100℃で成長させ、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGa<sub>1-x-y</sub>N、X値が0.2以下のAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nとすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。また膜厚は特に問うものではなく、バッファ層よりも厚膜で成長させ、通常0.1μm以上20μm以下の膜厚で成長させることが好ましい。

【0010】第2の窒化物半導体層のn型不純物濃度は、 $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上、より好ましくは $8 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上にする。このようにn型不純物を多くドーピングし、この層をコンタクト層とすると、V<sub>f</sub>及び閾値を低下させることができる。不純物濃度が上記範囲を逸脱するとV<sub>f</sub>が低下しにくくなる傾向がある。また、n型不純物が高濃度にドーピングされている窒化物半導体は、一般に結晶性を良好に形成されることが困難な傾向があるが、本発明の第2の窒化物半導体層は、n型不純物濃度が小さい結晶性の良好な第1の窒化物半導体層上に形成されるので、高濃度のn型不純物を有しているにも関わらず結晶性を良好に形成することができる。第2の窒化物半導体層のn型不純物濃度の上限は特に限定しないが、コンタクト層として結晶性が悪くなりすぎる限界としては $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。

【0011】また第2の窒化物半導体層は、互いにバンドギャップエネルギーが異なる2種類の窒化物半導体層が積層されてなるか、若しくは同一組成の窒化物半導体層が積層されてなる超格子構造としても良い。超格子層にすると第2の窒化物半導体層の移動度が大きくなって抵抗率がさらに低下するため、V<sub>f</sub>及び閾値が低下できると共に、特に発光効率の高い素子を実現できる。超格子構造とする場合には超格子を構成する窒化物半導体層の膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下に調整する。さらに超格子構造の場合、超格子を構成する窒化物半導体層にSi、Ge等のn型不純物を変調ドーピングしても良い。変調ドーピングとは、超格子層を構成する窒化物半導体層の互いに不純物濃度が異なることを指し、この場合、一方の層は不純物をドーピングしない状態、つまりアンドープでもよい。好ましくは第2の窒化物半導体層を互いにバンドギャップエネルギーの異なる層を積層した超格子構造として、いずれか一方の窒化物半導体にn型不純物を多くドーピングし、例えば $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上ドーピングすることが望ましく、もう一方の窒化物半導体層をアンドープとすることが好ましい。なお変調ドーピングする場合には、不純物濃度差は1桁以上とすることが望ましい。

【0012】第2の窒化物半導体層も第1の窒化物半導

体層と同様に、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGa<sub>1-x-y</sub>N、X値が0.2以下のAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nとすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。膜厚は特に問うものではないが、n電極を形成する層であるので1μm以上20μm以下の膜厚で成長させることが望ましい。

【0013】第3の窒化物半導体層のn型不純物濃度は、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以下とし、アンドープでもよい。このようにn型不純物濃度を小さくすると、第3の窒化物半導体層の結晶性が良好となり、この結晶性のよい第3の窒化物半導体層上に活性層を形成すると結晶性よく形成することができる。上記不純物濃度の範囲を逸脱すると、第3の窒化物半導体層を結晶性よく形成しにくくなり、第3の窒化物半導体層上に形成される活性層の結晶性が低下して出力が低下するか、あるいは素子のリーク電流が発生し易い傾向がある。

【0014】第3の窒化物半導体層の膜厚は、0.5μm以下、好ましい膜厚は0.2μm以下、さらに好ましくは0.15μm以下である。下限は特に限定しないが10オングストローム以上、好ましくは50オングストローム以上、より好ましくは100オングストローム以上に調整することが望ましい。第3の窒化物半導体層は上記のようにn型不純物のドーピング量が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下であるので、抵抗率が第2の窒化物半導体層に比較して高く、第3の窒化物半導体層を厚膜の層で成長すると逆にV<sub>f</sub>及び閾値等が低下しにくい傾向にあり、上記範囲の膜厚であると良好にV<sub>f</sub>及び閾値を低下させることができ好ましい。

【0015】更に第3の窒化物半導体層は第1の窒化物半導体層よりも薄くするのが好ましい。第1の窒化物半導体層は第2の窒化物半導体層を厚膜で成長させるためのバッファ層（高温成長）として作用する。第3の窒化物半導体層も活性層成長時のバッファ層として作用するが、第3の窒化物半導体層を厚膜で成長させると縦方向の抵抗が高くなるため、第1の窒化物半導体層より薄い0.5μm以下の膜厚にすることが望ましい。

【0016】第3の窒化物半導体層も第1及び第2の窒化物半導体層と同様に $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGa<sub>1-x-y</sub>N、またはY値が0.1以下のIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nとすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。InGa<sub>1-y</sub>Nを成長させると、その上にAlを含む窒化物半導体を成長させる場合に、Alを含む窒化物半導体層にクラックが入るのを防止することができる。

【0017】また本発明において、第1の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層

10

20

30

40

50

とは同一組成の窒化物半導体を成長させることが、格子整合系であるため望ましい。

【0018】本発明において、第1〜第3の窒化物半導体層等にドーパされるn型不純物としては、第4族元素が挙げられ、例えばSi、Ge、Sn、S等が挙げられ、好ましくはSi若しくはGe、さらに好ましくはSiである。

【0019】本発明でアンドープの窒化物半導体層とは意図的に不純物をドーパしない窒化物半導体層を指し、例えば原料に含まれる不純物、反応装置内のコンタミネーション、意図的に不純物をドーパした他の層からの意図しない拡散により不純物が混入した層も本発明ではアンドープと定義する。

【0020】また本発明において、基板と前記第1の窒化物半導体層との間に、第1の窒化物半導体層よりも低温で成長されるバッファ層を有してもよい。このバッファ層は例えばAlN、GaN、AlGaN等を400℃〜900℃において、0.5μm以下の膜厚で成長させることができ、基板と窒化物半導体との格子不整合を緩和、あるいは第1の窒化物半導体層を結晶性よく成長させるための下地層として作用する。

【0021】本発明の発光素子では、活性層と基板との間に少なくとも3層構造を有する窒化物半導体層を有している。まず第1の窒化物半導体層はn型不純物を含む第2の窒化物半導体層を結晶性よく成長させるためにアンドープもしくはn型不純物を少なくドーパしている。次に第2の窒化物半導体層はn型不純物を多くドーパして、抵抗率が低く、キャリア濃度が高いn電極を形成するためのコンタクト層として作用している。

【0022】次に第3の窒化物半導体層は第1の窒化物半導体層と同様にアンドープもしくはn型不純物を少なくドーパする。n型不純物濃度の大きい第2の窒化物半導体層はn型不純物濃度の小さい窒化物半導体層に比べ結晶性があまり良くなく、この第2の窒化物半導体層上に直接、活性層やクラッド層等を成長させると、活性層など結晶性が悪化する傾向がある。このため、第2の窒化物半導体層と活性層の間にn型不純物を少なくドーパした結晶性の良い第3の窒化物半導体を介在させることにより、活性層を成長させる前のバッファ層として作用し、活性層などを結晶性よく成長させることができる。また更に、n型不純物を少なくドーパした抵抗率が比較的高い第3の窒化物半導体層を、活性層と第2の窒化物半導体層との間に介在させることにより、素子のリーク電流を防止し、逆方向の耐圧を高くすることができる。

【0023】本発明において、活性層はInを含むアンドープの窒化物半導体、好ましくはInGaNよりなる井戸層を有する単一量子井戸構造、若しくは多重量子井戸構造とすることが望ましい。

【0024】本発明の発光素子を構成するその他の層は、特に限定されず、例えば好ましい素子構成として

は、下記の実施例で示すような層構成が挙げられる。しかし本発明はこれに限定されない。

【0025】

【実施例】〔実施例1〕図1は本発明の一実施例に係るLED素子の構造を示す模式的な断面図であり、以下この図を元に、本発明の素子の製造方法について述べる。

【0026】サファイア（C面）よりなる基板1を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。基板1にはサファイアC面の他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル（ $MgAl_2O_4$ ）のような絶縁性の基板の他、SiC（6H、4H、3Cを含む）、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0027】（バッファ層2）続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0028】（第1の窒化物半導体層3）バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNよりなる第1の窒化物半導体層3を1.5μmの膜厚で成長させる。

【0029】（第2の窒化物半導体層4）続いて1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーパしたGaNよりなる第2の窒化物半導体層3を3μmの膜厚で成長させる。

【0030】（第3の窒化物半導体層5）次にシランガスのみを止め、1050℃で同様にしてアンドープGaNよりなる第3の窒化物半導体層5を0.15μmの膜厚で成長させる。

【0031】（活性層6）次に、温度を800℃にして、キャリアガスを窒素に切り替え、TMG、TMI（トリメチルインジウム）、アンモニアを用いアンドープ $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ 層を30オングストロームの膜厚で成長させて単一量子井戸構造を有する活性層6を成長させる。

【0032】（p側クラッド層7）次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、 $Cp_2Mg$ （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーパしたp型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ よりなるp側クラッド層7を0.1μmの膜厚で成長させる。この層はキャリア閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくは $Al_YGa_{1-Y}N$ （ $0 < Y < 1$ ）を成長させることが望ましく、結晶性の良い層を成長させるためにはY値が0.3以下の $Al_YGa_{1-Y}N$

10

20

30

40

50

層を  $0.5\ \mu\text{m}$  以下の膜厚で成長させることが望ましい。

【0033】(p側コンタクト層8) 続いて  $1050^\circ\text{C}$  で、TMG、アンモニア、 $\text{Cp2Mg}$  を用い、 $\text{Mg}$  を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした p 型  $\text{GaN}$  よりなる p 側コンタクト層8を  $0.1\ \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。p 側コンタクト層8も  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくは  $\text{GaN}$  とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすく、また p 電極材料と好ましいオーミック接触が得られやすい。

【0034】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、 $700^\circ\text{C}$  でアニーリングを行い、p 型層をさらに低抵抗化する。

【0035】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層の p 側コンタクト層8の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE (反応性イオンエッチング) 装置で p 側コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すように第2の窒化物半導体層4の表面を露出させる。

【0036】エッチング後、最上層にある p 側コンタクト層のほぼ全面に膜厚  $200\ \text{\AA}$  の  $\text{Ni}$  と  $\text{Au}$  を含む透光性の p 電極9と、その p 電極9の上にボンディング用の  $\text{Au}$  よりなるパッド電極10を  $0.5\ \mu\text{m}$  の膜厚で形成する。一方エッチングにより露出させた第2の窒化物半導体層4の表面には  $\text{W}$  と  $\text{Al}$  を含む n 電極11を形成する。最後に p 電極9の表面を保護するために  $\text{SiO}_2$  よりなる絶縁膜12を図1に示すように形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して  $350\ \mu\text{m}$  角の LED 素子とする。

【0037】この得られた LED 素子の順方向電圧 ( $V_f$ ) と順方向電流 ( $I_f$ ) の関係と、従来の LED 素子の  $V_f$  と  $I_f$  の関係を比較するため、図3にその関係を示した。従来の LED 素子としては、 $20\ \text{mA}$  において、 $450\ \text{nm}$  の青色発光を示し、サファイア基板上に  $\text{GaN}$  よりなるバッファ層と、 $\text{Si}$  を  $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした  $\text{GaN}$  よりなる n 側コンタクト層と、単一量子井戸構造の  $\text{InGaIn}$  よりなる活性層と、 $\text{Mg}$  ドープ  $\text{AlGaIn}$  よりなる p 側クラッド層と、 $\text{Mg}$  ドープ  $\text{GaIn}$  よりなる p 側コンタクト層とが順に積層された従来の青色発光 LED を用いた。

【0038】その結果、実施例1の LED 素子 (図3のライン a) は、従来の LED 素子 (図3のライン b) に比べ、 $20\ \text{mA}$  における  $V_f$  で  $0.4 \sim 0.5\ \text{V}$ 、出力で  $5\% \sim 10\%$  向上し、 $I_f$  が上昇しても  $V_f$  の上昇は従来のものに比べて極めて少ない。このように実施例1の LED 素子では、従来のものに比べ電流の上昇に対して  $V_f$  が著しく低下していることがわかる。また、 $-5\ \text{V}$  におけるリーク電流は、 $0.1\ \mu\text{A}$  未満しかなく

た。

【0039】[実施例2] 実施例1において、第1の窒化物半導体層3に  $\text{Si}$  を  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  ドープし、第2の窒化物半導体層4に  $\text{Si}$  を  $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープし、第3の窒化物半導体層5はアンドープとした他は同様にして素子を得た。その結果、 $V_f$  は実施例1とほぼ同様ではあったが、実施例1に比べ  $\text{Si}$  を第1の窒化物半導体層3に多くドープしたため、素子からわずかにリーク電流が発生するようになった。出力は実施例1に比べて若干低下した。

【0040】[実施例3] 実施例1において、第3の窒化物半導体層5に  $\text{Si}$  を  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  ドープし、第2の窒化物半導体層4に  $\text{Si}$  を  $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープし、第1の窒化物半導体層3はアンドープとした他は同様にして素子を得た。その結果、 $V_f$  は実施例1とほぼ同様ではあったが、実施例1に比べ  $\text{Si}$  を第3の窒化物半導体層5に多くドープしたため、素子からわずかにリーク電流が発生するようになった。出力は実施例1に比べて若干低下した。

【0041】[実施例4] 実施例1において、第1の窒化物半導体層3及び第3の窒化物半導体層5にそれぞれ  $\text{Si}$  を  $8 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  ドープした他は同様にして素子を得た。その結果、 $V_f$  は実施例1とほぼ同様であり、第1及び第3の窒化物半導体層の n 型不純物濃度を少なくしたためリーク電流も実施例1と同様にほとんど発生していなかった。出力は実施例1に比べて若干低下した。

【0042】[実施例5] 実施例1において、第3の窒化物半導体層5成長時に、温度を  $800^\circ\text{C}$  にして TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープ  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層を  $200\ \text{\AA}$  の膜厚で成長させる他は実施例1と同様にして LED 素子を得たところ、実施例1とほぼ同等の特性を有する素子が得られた。

【0043】[実施例6] 図2は本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、レーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の構造を示すものである。以下この図面を元に実施例6について説明する。

【0044】サファイア (C 面) よりなる基板20の上に、実施例1と同様にしてバッファ層21を  $200\ \text{\AA}$  の膜厚で成長させる。

【0045】(第1の窒化物半導体層22) バッファ層20成長後、温度を  $1020^\circ\text{C}$  まで上昇させ、 $1020^\circ\text{C}$  において、アンドープ  $\text{GaIn}$  よりなる第1の窒化物半導体層22を  $5\ \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

【0046】(第2の窒化物半導体層23) 続いて、 $1020^\circ\text{C}$  で不純物ガスにシランガスを用い、 $\text{Si}$  を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした n 型  $\text{GaIn}$  よりなる第2の窒化物半導体層22を  $3\ \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

【0047】(第3の窒化物半導体層24) 次に、温度

を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープ  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  よりなる第3の窒化物半導体層24を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0048】(n側クラッド層25) 次に温度を1020℃にして、原料ガスにTMA、TMG、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{SiH}_4$ を用い、 $\text{Si}$ を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープしたn型  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  層40オングストロームと、アンドープ  $\text{GaN}$  層40オングストロームとを交互に40層ずつ積層した超格子構造よりなるn側クラッド層を成長させる。このn側クラッド層はキャリア閉じ込め層及び光閉じ込め層として作用する。

【0049】(n側光ガイド層26) 続いて、1020℃で $\text{Si}$ を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型  $\text{GaN}$  よりなるn側光ガイド層26を0.2  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。このn側光ガイド層26は、活性層の光ガイド層として作用し、 $\text{GaN}$ 、 $\text{InGaN}$ を成長させることが望ましく、通常100オングストローム～5  $\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～1  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることが望ましい。このn側光ガイド層はアンドープでも良い。

【0050】(活性層27) 温度を800℃にして、まず $\text{Si}$ ドープ  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、 $\text{Si}$ ドープ  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  よりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返し、最後に井戸層を積層した多重量子井戸構造とする。

【0051】(p側キャップ層28) 次に、温度を1020℃にして、TMG、TMA、アンモニア、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を用い、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きい、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  よりなるp側キャップ層28を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層28は好ましくはp型とするが、膜厚が薄いため、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型としても良い。p側キャップ層28の膜厚は0.1  $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。0.1  $\mu\text{m}$ より厚い膜厚で成長させると、p側キャップ層28中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。またキャリアがこのエネルギーバリアをトンネル効果により通過できなくなる。Alの組成比が大きい  $\text{AlGaIn}$  程薄く形成するとLD素子は発振しやすくなる。例えば、Y値が0.2以上の  $\text{Al}_{1-y}\text{Ga}_y\text{In}_y\text{N}$  であれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層28の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0052】(p側光ガイド層29) 続いて、1020

℃で、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした  $\text{GaN}$  よりなるp側光ガイド層26を0.2  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。このp側光ガイド層29は、n側光ガイド層26と同じく、活性層の光ガイド層として作用し、 $\text{GaN}$ 、 $\text{InGaN}$ を成長させることが望ましく、通常100オングストローム～5  $\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～1  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることが望ましい。なおこのp側光ガイド層は、p型不純物をドープしたが、アンドープの窒化物半導体で構成することもできる。

【0053】(p側クラッド層30) 続いて、1020℃において $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  層40オングストロームと、アンドープ  $\text{GaN}$  層40オングストロームとを交互に40層ずつ積層した超格子構造よりなるp側クラッド層30を成長させる。このp側クラッド層はn側クラッド層と同じくキャリア閉じ込め層及び光閉じ込め層として作用し、特にp側クラッド層側を超格子とすることにより、p層の抵抗が下がり閾値がより低下しやすい傾向にある。

【0054】(p側コンタクト層31) 最後に、p側クラッド層30の上に、1050℃で $\text{Mg}$ を $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした  $\text{GaN}$  よりなるp側コンタクト層31を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0055】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型不純物がドープされた層をさらに低抵抗化する。

【0056】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図2に示すように、RIE装置で最上層のp側コンタクト層31と、p側クラッド層30とをエッチングして、4  $\mu\text{m}$ のストライプ幅を有するリッジ形状とする。特に活性層よりも上にあるAlを含む窒化物半導体層以上の層をリッジ形状とすることにより、活性層の発光がリッジ下部に集中して、横モードが単一化しやすく、閾値が低下しやすい。リッジ形成後、リッジ表面にマスクを形成し、図2に示すように、ストライプ状のリッジに対して左右対称にして、n電極34を形成すべき第2の窒化物半導体層23の表面を露出させる。

【0057】次にp側コンタクト層31のリッジ最上層のほぼ全面にNiとAuよりなるp電極32を形成する。一方、TiとAlよりなるn電極34をストライプ状の第2の窒化物半導体層23のほぼ全面に形成する。なおほぼ全面とは80%以上の面積をいう。このようにp電極32に対して左右対称に第2の窒化物半導体層23を露出させて、その第2の層23のほぼ全面にn電極を設けることも、閾値を低下させる上で非常に有利である。さらに、p電極とn電極との間に $\text{SiO}_2$ よりなる絶縁膜35を形成した後、その絶縁膜35を介してp電極32と電氣的に接続したAuよりなるpパッド電極33を形成する。

10

20

30

40

50

【0058】以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェーハを研磨装置に移送し、ダイヤモンド研磨剤を用いて、窒化物半導体を形成していない側のサファイア基板20をラッピングし、基板の厚さを50 $\mu$ mとする。ラッピング後、さらに細かい研磨剤で1 $\mu$ mポリシングして基板表面を鏡面状とする。

【0059】基板研磨後、研磨面側をスクライブして、ストライプ状の電極に垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。共振器面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極32に平行な方向で、バーを切断してレーザ素子とする。この素子をヒートシンクに設置して室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度2.5kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.0Vで、発振波長405nmの連続発振が確認され、500時間以上の寿命を示し、従来の窒化物半導体レーザ素子に比較して10倍以上寿命が向上した。

【0060】〔実施例7〕実施例6において、第1の窒化物半導体層22にSiを $1 \times 10^{17}$ /cm<sup>3</sup>ドープした他は同様にしてLD素子を得た。その結果、実施例5とほぼ良好な結果が得られたが、実施例6の方がやや良好であった。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の素子では、活性層と基板との間にあるn型不純物を $1 \times 10^{17}$ /cm<sup>3</sup>以下の第1の窒化物半導体層で、n型不純物がドープされた第2の窒化物半導体の結晶性を維持するように成長できるので、次にn型不純物を $3 \times 10^{18}$ /cm<sup>3</sup>以上の第2の窒化物半導体層が結晶性よく厚膜で成長できる。さらにn型不純物を $1 \times 10^{17}$ /cm<sup>3</sup>以下の第3の窒化物半導体層がその層の上に成長させる窒化物\*

\*半導体層のための結晶性の良い下地層となる。そのため第2の窒化物半導体層の抵抗率を低下できて、キャリア濃度が上がるために、非常に効率の良い窒化物半導体素子を実現することができる。このように本発明によれば、出力を向上させると共に、V<sub>f</sub>、閾値の低い発光素子を実現できるため、素子の発熱量も少なくなり、信頼性が向上した素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係るLED素子の構造を示す模式断面図である。

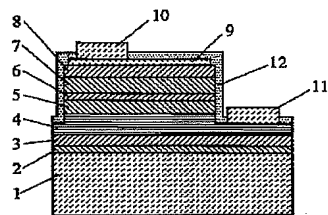
【図2】本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図である。

【図3】本発明のLED素子と従来のLED素子の順電圧と順電流の関係を比較した図である。

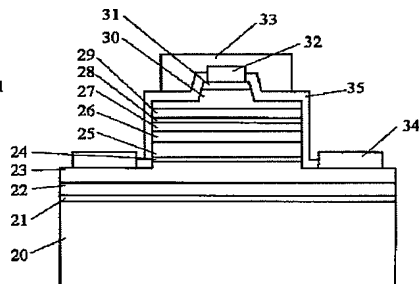
【符号の説明】

- 1、20・・・基板
- 2、21・・・バッファ層
- 3、22・・・第1の窒化物半導体層
- 4、23・・・第2の窒化物半導体層
- 5、24・・・第3の窒化物半導体層
- 6、27・・・活性層
- 7、30・・・p側クラッド層
- 8、31・・・p側コンタクト層
- 25・・・n側光ガイド層
- 26・・・n側クラッド層
- 28・・・p側キャップ層
- 29・・・p側光ガイド層
- 9、32・・・p電極
- 10、33・・・pパッド電極
- 11、34・・・n電極
- 35、12・・・絶縁膜

【図1】



【図2】



【図3】

